



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 108563227 A

(43)申请公布日 2018.09.21

(21)申请号 201810360530.5

(22)申请日 2018.04.20

(71)申请人 武汉大学

地址 430072 湖北省武汉市武昌区珞珈山
武汉大学

申请人 中山赛伯坦智能科技有限公司

(72)发明人 崔竞松 郭迟 葛雯斐 陈梁
邓玥 牛小骥

(74)专利代理机构 武汉科皓知识产权代理事务
所(特殊普通合伙) 42222

代理人 严彦

(51)Int. Cl.

G05D 1/02(2006.01)

G05D 1/08(2006.01)

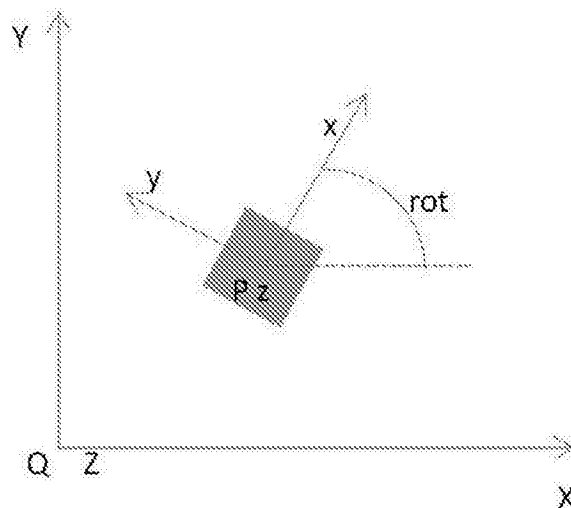
权利要求书2页 说明书9页 附图3页

(54)发明名称

一种基于活动脚轮的2D轮式机器人的运动控制方法

(57)摘要

本发明公开一种基于活动脚轮的2D轮式机器人的运动控制方法,包括按照以下流程不断更新控制机器人运动状态:步骤S1,根据任务需求确定当前时刻机器人的目标状态;步骤S2,将机器人整体的运动表示为机器人底盘几何中心P点的质点的运动,根据目标状态计算当前时刻机器人在全局坐标系下的运动向量;步骤S3,以轮子侧向不受力的原则计算各个轮子的转速 n_i 和车轮朝向与机器人局部坐标系的X轴的夹角 ψ_i ;步骤S4,按各个轮子的转速 n_i 和夹角 ψ_i 调整轮子的状态,实现控制机器人运动。本发明支持机器人实现前行、横移、斜行、旋转及其组合等运动方式,可以用于2个及以上等多个所述小脚轮的2D轮式机器人的运动控制,车轮的滑动小,运动的稳定性、灵活性更高。



1. 一种基于活动脚轮的2D轮式机器人的运动控制方法,所述活动脚轮在两个方面具有可控性,包括控制车轮的转速,和控制车轮绕车轮与地面接触点和车轮质心所在轴的360度转动;所述机器人支持在任意时刻改变任意一个活动脚轮的转速 n_i 和车轮朝向在平面上与机器人正方向的夹角 ψ_i , $0 \leq i \leq m$,活动脚轮数量 $m \geq 2$;其特征在于:按照以下流程不断更新控制机器人运动状态,

步骤S1,根据任务需求确定当前时刻机器人的目标状态;

步骤S2,将机器人整体的运动表示为机器人底盘几何中心P点的质点的运动,根据目标状态计算当前时刻机器人在全局坐标系下的运动向量 $T = \{V_x \ V_y \ \omega_z\}$,其中 V_x 为机器人在全局坐标系下X轴的速度分量, V_y 为机器人在全局坐标系下Y轴的速度分量, ω_z 为机器人在全局坐标系下Z轴的角速度;

步骤S3,以轮子侧向不受力的原则计算各个轮子的转速 n_i 和车轮朝向与机器人局部坐标系的X轴的夹角 ψ_i ;

步骤S4,按照步骤S3所得各个轮子的转速 n_i 和车轮朝向与机器人局部坐标系的X轴的夹角 ψ_i 调整轮子的状态,实现控制机器人运动。

2. 根据权利要求1所述基于活动脚轮的2D轮式机器人的运动控制方法,其特征在于:步骤S1中,根据任务需求选定当前时刻机器人的目标状态包括目标点的位置B、到达运动目标时的速度方向 α 、到达运动目标时的姿态 $\text{rot } B$ 以及到达目标时的速度 V_B ,其中运动目标的位置 (B_x, B_y, B_z) 为全局坐标系下机器人运动平面上的任意位置,到达运动目标时机器人的速度方向 α 为全局坐标系下机器人运动平面上的任意方向 $\alpha \in (-\pi, \pi]$,到达目标点时的姿态 $\text{rot } B$ 为到达目标点时机器人到达目标点时机器人正方向与全局坐标系X轴的任意夹角 $\text{rot } B \in (-\pi, \pi]$,到达目标点的速度为在机器人最大速度限制下的任意速度 $0 \leq V_B \leq V_{\max}$ 。

3. 根据权利要求1所述的基于活动脚轮的2D轮式机器人的运动控制方法,其特征在于:步骤S3,以轮子侧向不受力的原则计算各个轮子的转速 n_i 和车轮朝向与机器人局部坐标系的X轴的夹角 ψ_i ,实现方式如下,

$$n_i \times 2 \times \pi \times r \times \cos(\psi_i + \text{rot}A) = V_x - \omega_z \times d_i \times \sin(\lambda_i)$$

$$n_i \times 2 \times \pi \times r \times \sin(\psi_i + \text{rot}A) = V_y + \omega_z \times d_i \times \cos(\lambda_i)$$

其中,车轮半径 r 、车轮 i 与地面接触点和轮子中心的连线所在的直线与局部坐标系XY平面的交点M与机器人局部坐标系原点P的距离 d_i 、PM方向与车身局部坐标系X轴的夹角 λ_i 为已知固定值, V_x 、 V_y 、 ω_z 由步骤S2计算得到, $\text{rot}A$ 为机器人在A点时的姿态,为已知值,根据上式解算得到轮子 i 的转速 n_i 和车轮朝向与机器人局部坐标系的X轴的夹角 ψ_i , $0 \leq i \leq m$,活动脚轮数量 $m \geq 2$ 。

4. 根据权利要求1或2或3所述基于活动脚轮的2D轮式机器人的运动控制方法,其特征在于:支持以下运动模式,

- (1) 机器人在平面上做直线运动且不改变其自身的姿态,即直线运动模式;
- (2) 机器人在平面上绕局部坐标系Z轴旋转,即自转模式;
- (3) 机器人在平面上做曲线运动且不改变自身姿态,即曲线运动模式;
- (4) 机器人在平面上做直线运动且绕局部坐标系Z轴旋转,即同时直行和自转的运动模式;
- (5) 机器人在平面上做曲线运动且绕局部坐标系Z轴旋转,即同时曲线平动和自转运动

模式；

(6) 停车,终止所有运动状态。

一种基于活动脚轮的2D轮式机器人的运动控制方法

技术领域

[0001] 本发明属于机器人运动控制技术领域,具体涉及一种基于活动脚轮的2D轮式机器人的运动控制模型和方法。

背景技术

[0002] 随着工业自动化的不断发展,诸如智能小车、移动机器人等在日常生活中的应用也越来越广泛,2D轮式机器人是应用最广泛的机器人之一,因此人们对于2D轮式机器人的运动灵活性和运动效率具有越来越高的要求。

[0003] 应用于轮式机器人的车轮有全向轮(Omni wheel)、麦克纳姆轮(Mecanum wheel)、传统的活动脚轮即万向轮等。

[0004] 目前轮式机器人领域应用较广泛的麦克纳姆轮可以满足机器人全方位的灵活运动,提供机器人同时进行平动和自转等高效的移动模式,但是目前应用活动脚轮的机器人中,大多采用差速轮模式或者前轮转向等控制模型,这大大降低了基于活动脚轮的机器人运动的灵活性,没有充分发挥活动脚轮的运动优势。对于基于活动脚轮的机器人来说,急需一种更高效、灵活的运动控制模型和方法。

发明内容

[0005] 为了解决现有技术存在的问题,本发明提供一种基于活动脚轮的2D轮式机器人的运动控制模型和方法,该模型使机器人可以实现前行、横移、斜行、旋转及其组合等运动方式,且该发明可用于2个及以上等多个所述活动脚轮的2D轮式机器人的运动控制,车轮的滑动小,运动的稳定性、灵活性更高,在实际应用中具有很大的优势。

[0006] 本发明所采用的技术方案为一种基于活动脚轮的2D轮式机器人的运动控制方法,所述活动脚轮在两个方面具有可控性,包括控制车轮的转速,和控制车轮绕车轮与地面接触点和车轮质心所在轴的360度转动;所述机器人支持在任意时刻改变任意一个活动脚轮的转速 n_i 和车轮朝向在平面上与机器人正方向的夹角 ψ_i , $0 \leq i \leq m$,活动脚轮数量 $m \geq 2$;按照以下流程不断更新控制机器人运动状态,

[0007] 步骤S1,根据任务需求确定当前时刻机器人的目标状态;

[0008] 步骤S2,将机器人整体的运动表示为机器人底盘几何中心P点的质点的运动,根据目标状态计算当前时刻机器人在全局坐标系下的运动向量 $T = \{V_x \ V_y \ \omega_z\}$,其中 V_x 为机器人在全局坐标系下X轴的速度分量, V_y 为机器人在全局坐标系下Y轴的速度分量, ω_z 为机器人在全局坐标系下Z轴的角速度;

[0009] 步骤S3,以轮子侧向不受力的原则计算各个轮子的转速 n_i 和车轮朝向与机器人局部坐标系的X轴的夹角 ψ_i ;

[0010] 步骤S4,按照步骤S3所得各个轮子的转速 n_i 和车轮朝向与机器人局部坐标系的X轴的夹角 ψ_i 调整轮子的状态,实现控制机器人运动。

[0011] 而且,步骤S1中,根据任务需求选定当前时刻机器人的目标状态包括目标点的位

置B、到达运动目标时的速度方向 α 、到达运动目标时的姿态 rot B 以及到达目标时的速度 V_B ,其中运动目标的位置 (B_x, B_y, B_z) 为全局坐标系下机器人运动平面上的任意位置,到达运动目标时机器人的速度方向 α 为全局坐标系下机器人运动平面上的任意方向 $\alpha \in (-\pi, \pi]$,到达目标点时的姿态 rot B 为到达目标点时机器人到达目标点时机器人正方向与全局坐标系X轴的任意夹角 $\text{rot B} \in (-\pi, \pi]$,到达目标点的速度为在机器人最大速度限制下的任意速度 $0 \leq V_B \leq V_{\max}$ 。

[0012] 而且,步骤S3,以轮子侧向不受力的原则计算各个轮子的转速 n_i 和车轮朝向与机器人局部坐标系的X轴的夹角 ψ_i ,实现方式如下,

$$[0013] \quad n_i \times 2 \times \pi \times r \times \cos(\psi_i + \text{rotA}) = V_x - \omega_z \times d_i \times \sin(\lambda_i)$$

$$[0014] \quad n_i \times 2 \times \pi \times r \times \sin(\psi_i + \text{rotA}) = V_y + \omega_z \times d_i \times \cos(\lambda_i)$$

[0015] 其中,车轮半径 r 、车轮 i 与地面接触点和轮子中心的连线所在的直线与局部坐标系XY平面的交点M与机器人局部坐标系原点P的距离 d_i 、PM方向与车身局部坐标系X轴的夹角 λ_i 为已知固定值, V_x 、 V_y 、 ω_z 由步骤S2计算得到, rotA 为机器人在A点时的姿态,为已知值,根据上式解算得到轮子 i 的转速 n_i 和车轮朝向与机器人局部坐标系的X轴的夹角 ψ_i , $0 \leq i \leq m$,活动脚轮数量 $m \geq 2$ 。

[0016] 而且,支持以下运动模式,

[0017] (1) 机器人在平面上做直线运动且不改变其自身的姿态,即直线运动模式;

[0018] (2) 机器人在平面上绕局部坐标系Z轴旋转,即自转模式;

[0019] (3) 机器人在平面上做曲线运动且不改变自身姿态,即曲线运动模式;

[0020] (4) 机器人在平面上做直线运动且绕局部坐标系Z轴旋转,即同时直行和自转的运动模式;

[0021] (5) 机器人在平面上做曲线运动且绕局部坐标系Z轴旋转,即同时曲线平动和自转运动模式;

[0022] (6) 停车,终止所有运动状态。

[0023] 本发明的优点为:

[0024] (1) 本发明支持的活动脚轮,安装成本低,组装效率高;

[0025] (2) 本发明提供一种与安装活动脚轮数量无关的运动控制模型,对于安装2个及其以上所述活动脚轮的轮式机器人,都可以用本发明提供的运动模型;

[0026] (3) 本发明使机器人可以实现前行、横移、斜行、旋转及其组合等运动方式,提高了机器人在有限空间内的灵活性,而且机器人可以为安装所述活动脚轮的任意智能平台,包括但不限于智能小车、移动机器人等,市场价值高;

[0027] 本发明在计算轮子的转速和轮子方向与机器人正向的夹角的时候以轮子侧向不受力为原则,在轮子运动过程中无侧向滑动,运动的摩擦小,稳定性高。

附图说明

[0028] 图1为本发明实施例的全局坐标系和局部坐标系的关系示意图。

[0029] 图2为本发明实施例的计算圆心位置示意图。

[0030] 图3为本发明实施例的机器人在A点的运动向量。

[0031] 图4为本发明实施例的轮子的运动状态与机器人运动状态的关系图。

[0032] 图5为本发明实施例的运动控制流程示意图。

具体实施方式

[0033] 以下结合附图和实施例详细说明本发明的技术方案。

[0034] 本发明提出一种基于活动脚轮的2D轮式机器人的运动控制方法,所述活动脚轮在两个方面具有可控性,首先可以控制车轮的转速,其次可以控制车轮绕车轮与地面接触点和车轮质心所在轴的360度转动。所述机器人可以在任意时刻改变任意一个活动脚轮的转速 n_i ,和车轮朝向在平面上与机器人正方向的夹角 ψ_i , $0 \leq i \leq m$,活动脚轮数量 $m \geq 2$ 。这种基于活动脚轮的2D轮式机器人可采用现有技术已有产品,本发明针对该装置的运动控制进行研究。

[0035] 运用本发明的基于活动脚轮的2D轮式机器人可以实现但不限于以下运动模式:

[0036] (1) 机器人在平面上做直线运动且不改变其自身的姿态,即直线运动模式;

[0037] (2) 机器人在平面上绕局部坐标系Z轴旋转,即自转模式;

[0038] (3) 机器人在平面上做曲线运动且不改变自身姿态,即曲线运动模式;

[0039] (4) 机器人在平面上做直线运动且绕局部坐标系Z轴旋转,即同时直行和自转的运动模式;

[0040] (5) 机器人在平面上做曲线运动且绕局部坐标系Z轴旋转,即同时曲线平动和自转运动模式;

[0041] (6) 停车,终止所有运动状态。

[0042] 其中,直线运动是指机器人的移动轨迹在全局坐标系下的机器人运动平面上是一条直线,该直线方向可以不是机器人的正方向,其包括机器人在运动平面上的前行、后退、横移、斜行等。曲线运动是指机器人的移动轨迹在全局坐标系下的机器人运动平面上是一条曲线,该曲线在不同位置可以具有不同曲率半径。

[0043] 本发明所采用的技术方案,包含以下步骤:

[0044] S1根据任务需求确定当前时刻机器人的目标状态;

[0045] S2将机器人整体的运动表示为机器人底盘几何中心P点的质点的运动,根据目标状态计算当前时刻机器人在全局坐标系下的运动向量 $T = \{V_x \ V_y \ \omega_z\}$,其中 V_x 为机器人在全局坐标系下X轴的速度分量, V_y 为机器人在全局坐标系下Y轴的速度分量, ω_z 为机器人在全局坐标系下Z轴的角速度,在本运动模型下,此三个量在同一时刻可以全部不为零;

[0046] S3以轮子侧向不受力的原则计算各个轮子的转速 n_i 和车轮朝向与机器人局部坐标系的X轴的夹角 ψ_i ,是本发明提出的运动模型;

[0047] S4,按照计算的各个轮子的转速 n_i 和车轮朝向与机器人局部坐标系的X轴的夹角 ψ_i 调整轮子的状态以达到控制机器人运动的目的。

[0048] 由于机器人的运动是连续的过程,S1-S4控制机器人更新一次运动状态,因此,在实际操作时需要以稳定的更新率重复以上S1-S4,使得机器人平稳到达目标状态。

[0049] 如图1所示,首先定义一下此运动模型涉及的两个坐标系:

[0050] (1) 局部坐标系:以机器人的底盘几何中心P为坐标原点,以定义的机器人的正前方为X轴,以机器人的正左方为Y轴方向,Z轴垂直于XY所在的平面形成右手坐标系,在机器人的运动过程中,该坐标系随着机器人的移动和转向而变化。

[0051] (2) 全局坐标系:以空间中一点Q为坐标原点,水平方向为X轴,垂直方向为Y轴,Z轴垂直于XY所在的平面形成右手坐标系,在机器人的运动过程中,该坐标系不发生平移和旋转。

[0052] (3) 在本实施例中,为了方便计算,取全局坐标系的Z轴平行于局部坐标系Z轴且方向相同。

[0053] 本领域技术人员应当理解,上述全局坐标系的位置并不是任何时候都能够获取到的,但是知道目标点相对于当前位置的相对坐标也可以利用以下步骤进行计算,此时的全局坐标系的原点即为当前位置,目标点的全局坐标即为相对坐标。

[0054] 在本实施例中,将对本发明所采用的技术方案的实现过程进行详细说明。具体包括以下步骤:

[0055] S1根据任务需求确定当前时刻机器人的目标状态:

[0056] 机器人的目标状态可以包括:目标点的位置B、到达运动目标时的速度方向 α 、到达运动目标时的姿态 rot_B 、到达目标时的速度 V_B 。其中运动目标的位置 (B_x, B_y, B_z) 可以为全局坐标系下机器人运动平面上的任意位置,到达运动目标时机器人的速度方向 α 可以为全局坐标系下机器人运动平面上的任意方向 $\alpha \in (-\pi, \pi]$,到达目标点时的姿态 rot_B 可以为到达目标点时机器人正方向与全局坐标系X轴的任意夹角 $\text{rot}_B \in (-\pi, \pi]$,到达目标点的速度为在机器人可达到最大速度限制下的任意速度 $0 \leq V_B \leq V_{\max}$ 。

[0057] 如图2,根据机器人的移动任务需求,当前时刻机器人的目标位置是B点,B点在全局坐标系下的坐标为 (B_x, B_y, B_z) 。机器人的当前位置为A点,可以根据机器人自身的传感器获取A点(与平台中心P重合)在全局坐标系下的坐标为 (A_x, A_y, A_z) ,因为机器人的运动平面与全局坐标系XY平面平行,因此 $A_z = B_z$ 。

[0058] S2根据机器人的运动目标确定当前状态下机器人的运动向量 $T = \{V_x, V_y, \omega_z\}$,其中 V_x 为机器人在全局坐标系下X轴的速度分量, V_y 为机器人在全局坐标系下Y轴的速度分量, ω_z 为机器人在全局坐标系下Z轴的角速度,在本运动模型下,此三个量在同一时刻可以全部不为零:

[0059] S2.1计算平面运动公转的圆心O:

[0060] 当A点与B点重合,机器人无平面运动,或者目标状态要求到达B点时机器人的速度方向 α 与AB直线方向一致或者不要求到达B点时机器人的速度方向,机器人在平面上沿AB直线方向做直线运动,无需计算平面公转圆心O的位置,跳过该步执行S2.2。

[0061] 当A点与B点不重合,目标状态要求到达B点时机器人的速度方向为 α 方向, α 与AB直线方向不一致,因此机器人的平动为曲线运动,在本实施例中,为了方便说明,此处假设曲线上各点的曲率半径相等,也就是机器人从A点到B点的平面运动轨迹是一段圆弧。此时需根据A、B两点的位置、到达B点时的速度方向计算得到的平面圆周运动的圆心O。如图2所示,计算方法如下:

[0062] (1) 圆心O与B点的连线所在的直线垂直于B点的速度方向, V_B 与全局坐标系的X轴的夹角 α 已知,因此可以获得全局坐标系下BO直线与X轴的夹角 β ,由于垂直关系知:

$$[0063] \quad \beta = \alpha \pm \frac{\pi}{2}$$

[0064] 结合BO直线上的一点B的坐标 (B_x, B_y, B_z) ,可以得到BO直线在全局坐标系下XY平

面上的直线方程:

[0065] 设BO直线的点斜式方程: $y = kx + b$

[0066] 其中参数:

[0067] $k = \tan(\beta)$

[0068] $b = By - k \times Bx$

[0069] 因此可得BO的直线方程:

[0070] $y = \tan(\beta) \times x + (By - \tan(\beta) \times Bx)$

[0071] (2) 根据A点和B点在全局坐标系下的坐标计算AB垂直平分线DO在全局坐标系下的直线方程:

[0072] D点坐标 (D_x, D_y, D_z) :

[0073] $\left(\frac{(Ax + Bx)}{2}, \frac{(Ay + By)}{2}, \frac{(Az + Bz)}{2} \right)$

[0074] AB直线方向与全局坐标系X轴夹角 φ :

[0075] $\varphi = \arctan\left(\frac{By - Ay}{Bx - Ax}\right)$

[0076] 由DO直线垂直于AB直线,因此DO直线方向 γ :

[0077] $\gamma = \varphi \pm \frac{\pi}{2}$

[0078] 结合D点在全局坐标系下的坐标和DO直线方向,可得DO直线方程:

[0079] 设DO直线的点斜式方程为 $y = k_2x + b_2$

[0080] 其中参数:

[0081] $k_2 = \tan(\gamma)$

[0082] $b_2 = Dy - k_2 \times Dx$

[0083] 因此可得DO的直线方程:

[0084] $y = \tan(\gamma) \times x + (Dy - \tan(\gamma) \times Dx)$

[0085] (3) 因为机器人在平行于全局坐标系XY平面的平面上运动,因此 $A_z = B_z = D_z = O_z$,因此只需要联立以上两直线方程即可得到圆心O在全局坐标系下的坐标:

[0086]
$$\begin{cases} y = kx + b \\ y = k_2x + b_2 \end{cases}$$

[0087] 因此可得O点在全局坐标系下的坐标 (O_x, O_y, O_z) :

[0088] $O_x = \frac{b_2 - b}{k_2 - k}, O_y = kx + b, O_z = Az$

[0089] 其中参数:

[0090] $k = \tan(\beta)$

[0091] $k_2 = \tan(\gamma)$

[0092] $b = By - k \times Bx$

[0093] $b_2 = Dy - k_2 \times Dx$

[0094] S2.2确定机器人在A点时的速度方向:

[0095] ①当A点与B点重合,机器人无平面运动,无需计算机器人在A点的速度方向,跳过

此步执行S2.3。

[0096] ②当A点与B点不重合,目标状态要求到达B点时机器人的速度方向 α 与AB直线方向一致或者不要求到达B点时机器人的速度方向,机器人在平面上沿AB直线方向做直线运动,其在A点的速度方向为AB直线方向。机器人在A点时的速度 V_A ,将其与全局坐标系X轴正向的夹角记为 θ ,取值范围 $(-\pi, \pi]$:

[0097] 因此 V_A 与全局坐标系X轴的夹角 θ 的大小为:

$$[0098] \quad \theta = \arctan\left(\frac{By - Ay}{Bx - Ax}\right)$$

[0099] ③当A点与B点不重合,目标状态要求到达B点时机器人的速度方向 α 与AB直线方向不一致时,如图4,根据圆心O的位置确定机器人在A点时的速度 V_A ,将其与全局坐标系X轴正向的夹角记为 θ ,取值范围 $(-\pi, \pi]$:

[0100] 由A点的坐标和O点坐标确定AO直线在平面上的方向 ϑ :

$$[0101] \quad \vartheta = \arctan\left(\frac{Oy - Ay}{Ox - Ax}\right)$$

[0102] 由于 V_A 与AO直线垂直,因此:

$$[0103] \quad \theta = \vartheta \pm \frac{\pi}{2}$$

[0104] 上式中的加减符号的确定原则为:因为A、B两点在同一段圆弧中,因此 V_A 与AO方向的夹角和 V_B 与BO方向的夹角相等,因为此时 V_B 和BO方向已知,因此可以确定机器人在A点的速度方向。

[0105] S2.3根据机器人在A点的姿态和到达B点的姿态,计算其自转角速度:

[0106] ①当A点与B点重合,机器人无平面运动,根据机器人在A点时的姿态 rot_A 和到达B点时的姿态 rot_B 可知在从A点到B点的移动过程中,姿态的变化为 $\Delta \text{rot} = \text{rot}_B - \text{rot}_A$,若 $\Delta \text{rot} = 0$,机器人在空间中无运动状态的变化,即当前时刻机器人平面运动速度 $V_A = 0$ 且机器人绕局部坐标系Z轴旋转的角速度 $\omega = 0$;

[0107] ②当A点与B点重合,机器人无平面运动,根据机器人在A点时的姿态 rot_A 和到达B点的姿态 rot_B 可知在从A点到B点的移动过程中,姿态的变化为 $\Delta \text{rot} = \text{rot}_B - \text{rot}_A$,若 $\Delta \text{rot} \neq 0$,机器人绕Z轴自转,此时机器人绕局部坐标系Z轴旋转的角速度 ω 由目标状态给出,取值为最大自转角速度限制下的任意值 $(0 < \omega \leq \omega_{\max})$ 。

[0108] ③当A点与B点不重合,目标状态要求到达B点时机器人的速度方向 α 与AB直线方向一致或者不要求到达B点时机器人的速度方向,机器人在平面上沿AB直线方向做直线运动,其在A点的速度方向为AB直线方向。机器人在A点时的速度为 V_A :

[0109] (1) 根据直线运动的速度 V_A 推算机器人从A点移动到B点所需的时间 t :

[0110] AB之间的直线距离:

$$[0111] \quad d_{AB} = \sqrt{(Bx - Ax)^2 + (By - Ay)^2}$$

[0112] 根据 V_A 推算机器人从A点移动到B点所需的时间 t 为:

$$[0113] \quad t = \frac{d_{AB}}{V_A}$$

[0114] (2) 根据机器人在A点时的姿态 rot_A 和到达B点时的姿态 rot_B 可知在从A点到B点

的移动过程中,姿态的变化为 $\Delta \text{rot} = \text{rot B} - \text{rot A}$;

[0115] (3) 从A点到B点运动过程中机器人绕局部坐标系Z轴旋转的角速度为:

$$[0116] \quad \omega = \frac{\Delta \text{rot}}{t}$$

[0117] ④当A点与B点不重合,目标状态要求到达B点时机器人的速度方向 α 与AB直线方向不一致时:

[0118] (1) 根据S2.2计算得到的圆心O,计算机器人从A点到B点走过圆弧的长度L:

[0119] 已知全局坐标系下BO直线与X轴的夹角 β 和全局坐标系下AO直线在平面上与X轴的夹角 θ ,则由圆弧长度和圆心角的计算关系知:

$$[0120] \quad L = \frac{(|\beta - \theta|)}{R}$$

[0121] 其中R是全局坐标系下平面公转圆弧的半径大小,可用全局坐标系下A点和O点的坐标计算得到:

$$[0122] \quad R = \sqrt{(Ax - Ox)^2 + (Ay - Oy)^2}$$

[0123] 由圆弧长度L和机器人此时的运动速度 V_A 的大小,计算得到机器人从A点移动到B点所需的时间 $t = \frac{L}{V_A}$;

[0124] (4) 根据机器人在A点时的姿态 rot A 和到达B点时的姿态 rot B 可知在从A点到B点的移动过程中,姿态的变化为 $\Delta \text{rot} = \text{rot B} - \text{rot A}$;

[0125] (5) 从A点到B点运动过程中机器人绕局部坐标系Z轴旋转的角速度为:

$$[0126] \quad \omega = \frac{\Delta \text{rot}}{t}$$

[0127] S2.4根据机器人在A点的速度和自转角速度计算当前时刻机器人的运动向量:

[0128] 如图3所示,用机器人底盘几何中心P在空间中的运动表示机器人整体的运动,其中P并不一定是机器人的质心。那么机器人在A点的运动向量可以表示为:

[0129] (1) 将机器人在A点的速度 V_A 分解为全局坐标系下X轴方向的速度分量 V_x ,全局坐标系下Y轴的速度分量 V_y :

$$[0130] \quad V_x = V_A \times \cos(\theta)$$

$$[0131] \quad V_y = V_A \times \sin(\theta)$$

[0132] (2) 机器人在全局坐标系下Z轴的角速度由S2.3计算得到 $\omega_z = \omega$;

[0133] (3) 此三个变量确定了机器人此时的运动状态,将其表示为运动向量 $T = \{V_x \ V_y \ \omega_z\}$ 。

[0134] S3以轮子侧向不受力的原则计算各个轮子的转速 n_i 和车轮朝向与机器人局部坐标系的X轴的夹角 ψ_i :

[0135] 在本实施例一共有个 m 车轮, $m \geq 2$ 。对于第 i 个车轮,需要计算此时车轮的转速 n_i ($0 \leq i \leq m$, 活动脚轮数量 $m \geq 2$) 和车轮朝向与机器人局部坐标系的X轴的夹角 ψ_i ($0 \leq i \leq m$, 活动脚轮数量 $m \geq 2$);

[0136] 以机器人的第 i 个轮子为例,轮子与地面接触点和轮子中心的连线平行于局部坐标系Z轴,将轮子与地面接触点和轮子中心的连线所在的直线与局部坐标系XY平面的交点

记为M点。M与机器人局部坐标系原点P的距离 d_i 为固定值,根据机器人的安装位置测量得到,且PM方向与车身局部坐标系X轴的夹角 λ_i 也是与安装位置有关的已知量,轮子的半径 r 也是已知量,以上各量的空间位置关系如图4所示。

[0137] 由于机器人的自转引起M点在空间中垂直于MP方向的线速度,M点的实际速度 V_M 是机器人底盘几何中心P的平面运动速度和此线速度的合成,将M点在空间中的运动分解为在全局坐标系下X轴方向的速度分量 V_{Mx} 和全局坐标系下Y轴方向的速度分量 V_{My} ,则其与机器人底盘中心P的运动向量 $T = \{V_x \ V_y \ \omega_z\}$ 满足如下关系:

$$[0138] \quad V_{Mx} = V_x - \omega_z \times d_i \times \sin(\lambda_i)$$

$$[0139] \quad V_{My} = V_y + \omega_z \times d_i \times \cos(\lambda_i)$$

[0140] 轮子的半径 r 、轮子转速 n_i 和轮子最外侧一点在空间中平动的速度大小 v_i 满足:

$$[0141] \quad v_i = n_i \times 2 \times \pi \times r$$

[0142] 因为轮子和其转轴为刚性连接,M为其转轴上的一点,以轮子侧向不受力原则,此时轮子的方向与全局坐标系X轴的夹角与 V_M 方向相同,且轮子最外侧一点在空间中平动的速度大小 v_i 与 V_M 的大小相同。因此轮子最外侧一点在空间中平动的速度大小 v_i 、车轮此时与机器人局部坐标系的X轴的夹角 ψ_i 和M点在全局坐标系下的运动分量满足:

$$[0143] \quad v_i \times \cos(\psi_i + \text{rot}A) = V_{Mx}$$

$$[0144] \quad v_i \times \sin(\psi_i + \text{rot}A) = V_{My}$$

[0145] 以上各式合并为:

$$[0146] \quad n_i \times 2 \times \pi \times r \times \cos(\psi_i + \text{rot}A) = V_x - \omega_z \times d_i \times \sin(\lambda_i)$$

$$[0147] \quad n_i \times 2 \times \pi \times r \times \sin(\psi_i + \text{rot}A) = V_y + \omega_z \times d_i \times \cos(\lambda_i)$$

[0148] 上式中车轮半径 r 、车轮 i 与地面接触点和轮子中心的连线所在的直线与局部坐标系XY平面的交点M与机器人局部坐标系原点P的距离 d_i 、PM方向与车身局部坐标系X轴的夹角 λ_i 为已知固定值, V_x 、 V_y 、 ω_z 运动向量由S2计算得到, $\text{rot}A$ 为机器人在A点时的姿态,为已知值,因此可以根据上式解算得到各个轮子的转速 n_i 和车轮朝向与机器人局部坐标系的X轴的夹角 ψ_i , $0 \leq i \leq m$,活动脚轮数量 $m \geq 2$ 。

[0149] S4按照计算的各个轮子的 n_i 、 ψ_i 调整轮子的状态以达到控制机器人运动的目的:

[0150] 利用上面计算得到的各个轮子转速 n_i 和车轮此时与机器人局部坐标系的X轴的夹角 ψ_i ,结合当前轮子的速度和方向对轮子的状态进行调整,进而达到调整机器人运动状态的目的。

[0151] 由于机器人的运动是连续的过程,因此,各个轮子的状态也需要不断进行调整,以固定的时间间隔执行以上S1-S4,实现对机器人运动状态的不断检测和更新,在检测和更新的过程中,如果目标点不发生变化,要不断检测是否到达目标;如果在运动过程中目标点发生变化,可以随时调整运动状态,高效的执行运动指令,以达到对机器人运动精确、灵活、高效控制的目的。具体实施时,可采用软件技术实现流程的自动运行。

[0152] 所述在本运动模型下机器人可实现的6种运动模式是机器人在空间中运动的宏观表现,在实际应用本运动模型时,本运动模型可根据当前时刻机器人全局坐标系下的位置、姿态、目标位置、姿态、到达目标时的速度方向、速度大小等动态确定机器人当前的运动模式,由于目标点可能是在不断地变化,因此机器人在空间中的运动的总体表现形式是所述6种运动模式的一种或多种的结合:

[0153] 当A点与B点不重合,目标状态要求到达B点时机器人的速度方向 α 与AB直线方向一致或者不要求到达B点时机器人的速度方向,此时机器人在平面上沿AB直线方向做直线运动,初始机器人的姿态方向即为局部坐标系X轴与全局坐标系X轴正方向的夹角,表示为 rot A ,到达B点时机器人的姿态为此时局部坐标系X轴与全局坐标系X轴正方向的夹角,表示为 rot B ,若 $\text{rot B}=\text{rot A}$,因此机器人在做平面曲线运动到达B点过程中,机器人的姿态不发生变化,机器人在直线运动的过程中无自转,此时的机器人进入直线运动模式;

[0154] 当A点与B点重合,即机器人在平面上无平动,但 $\text{rot B}\neq\text{rot A}$,机器人的姿态发生变化,机器人围绕自身底盘中心P有自转。机器人在空间中的运动表现为绕局部坐标系Z轴旋转,此时的机器人进入自转模式;

[0155] 当A点与B点不重合,且目标状态要求到达B点时机器人的速度方向为 α 方向, α 与AB直线方向不一致,因此机器人的平动为曲线运动,若 $\text{rot B}=\text{rot A}$,机器人在做平面曲线运动到达B点过程中,机器人的姿态不发生变化,机器人在曲线运动的过程中无自转,此时的机器人进入曲线运动模式;

[0156] 当A点与B点不重合,目标状态要求到达B点时机器人的速度方向 α 与AB直线方向一致或者不要求到达B点时机器人的速度方向,此时机器人在平面上沿AB直线方向做直线运动。若 $\text{rot B}\neq\text{rot A}$,机器人在做直线运动到达B点过程中,机器人的姿态发生变化,机器人在直线运动的过程中同时进行自转,此时的机器人进入直线和自转的运动模式;

[0157] 当A点与B点不重合,且目标状态要求到达B点时机器人的速度方向为 α 方向, α 与AB直线方向不一致,因此机器人的平动为曲线运动,若 $\text{rot B}\neq\text{rot A}$,因此机器人在做直线运动到达B点过程中,机器人的姿态发生变化,机器人在曲线运动的过程中同时进行自转,此时的机器人进入曲线和自转的运动模式;

[0158] 当A点与B点重合且 $\text{rot B}=\text{rot A}$ 时,即机器人到达目标状态,此时机器人无运动,即终止所有运动状态,停车。

[0159] 应当理解的是,上述针对较佳实施例的描述较为详细,并不能因此而认为是对本发明专利保护范围的限制,本领域的普通技术人员在本发明的启示下,在不脱离本发明权利要求所保护的情况下,还可以做出替换或变形,均落入本发明的保护范围之内,本发明的请求保护范围应以所附权利要求为准。

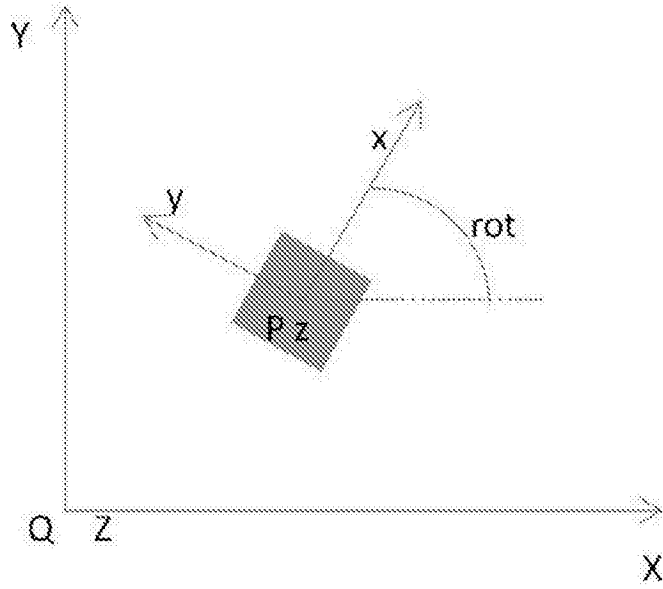


图1

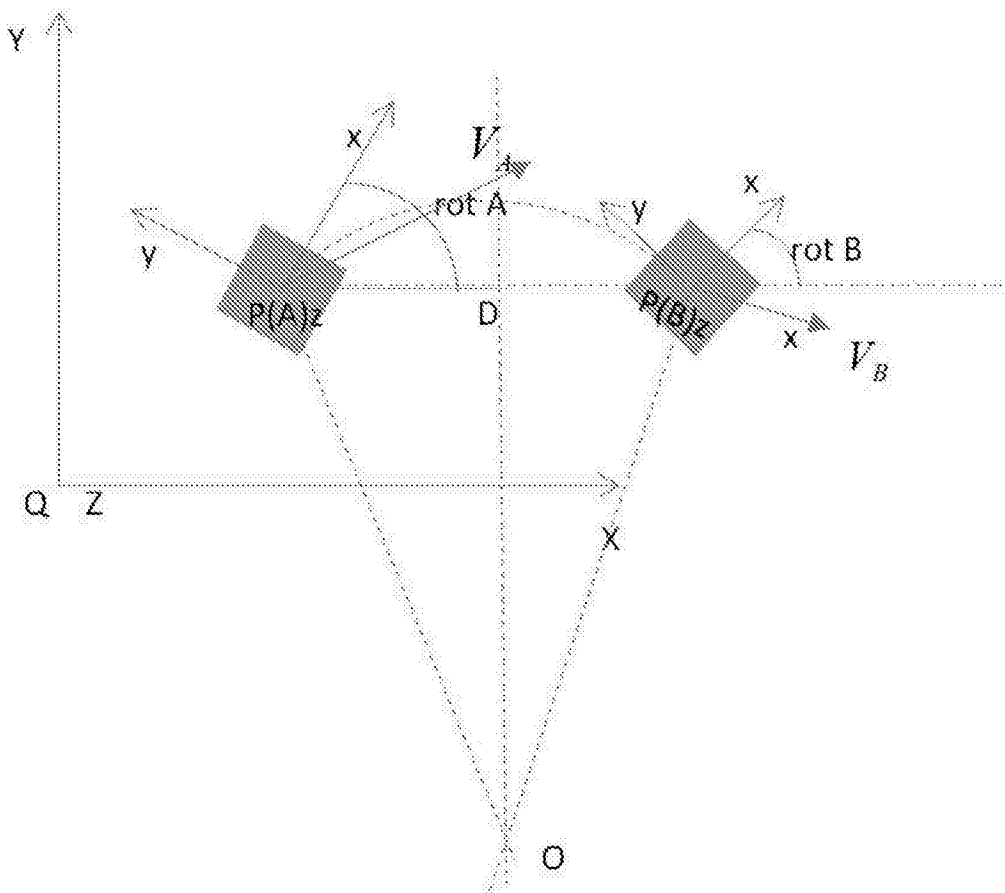


图2

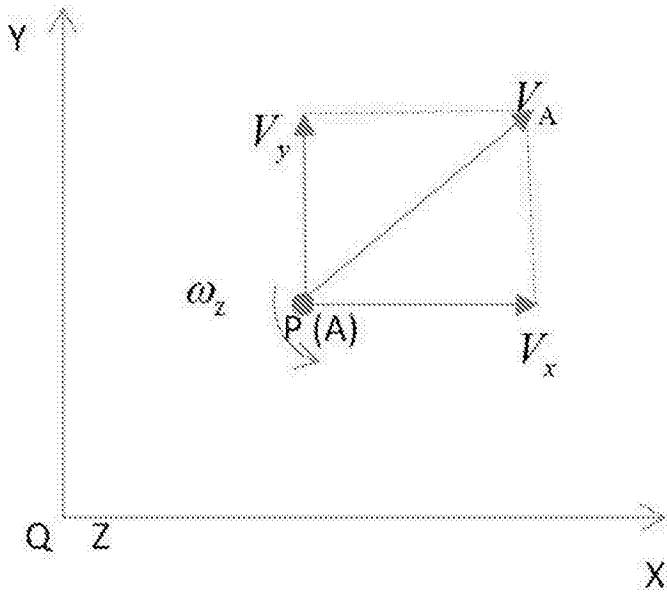


图3

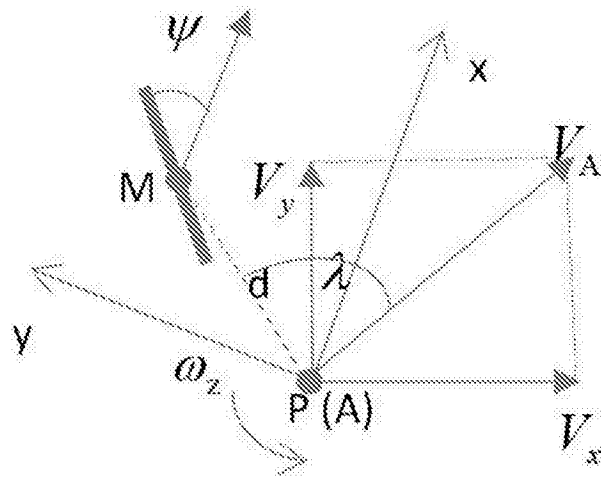


图4

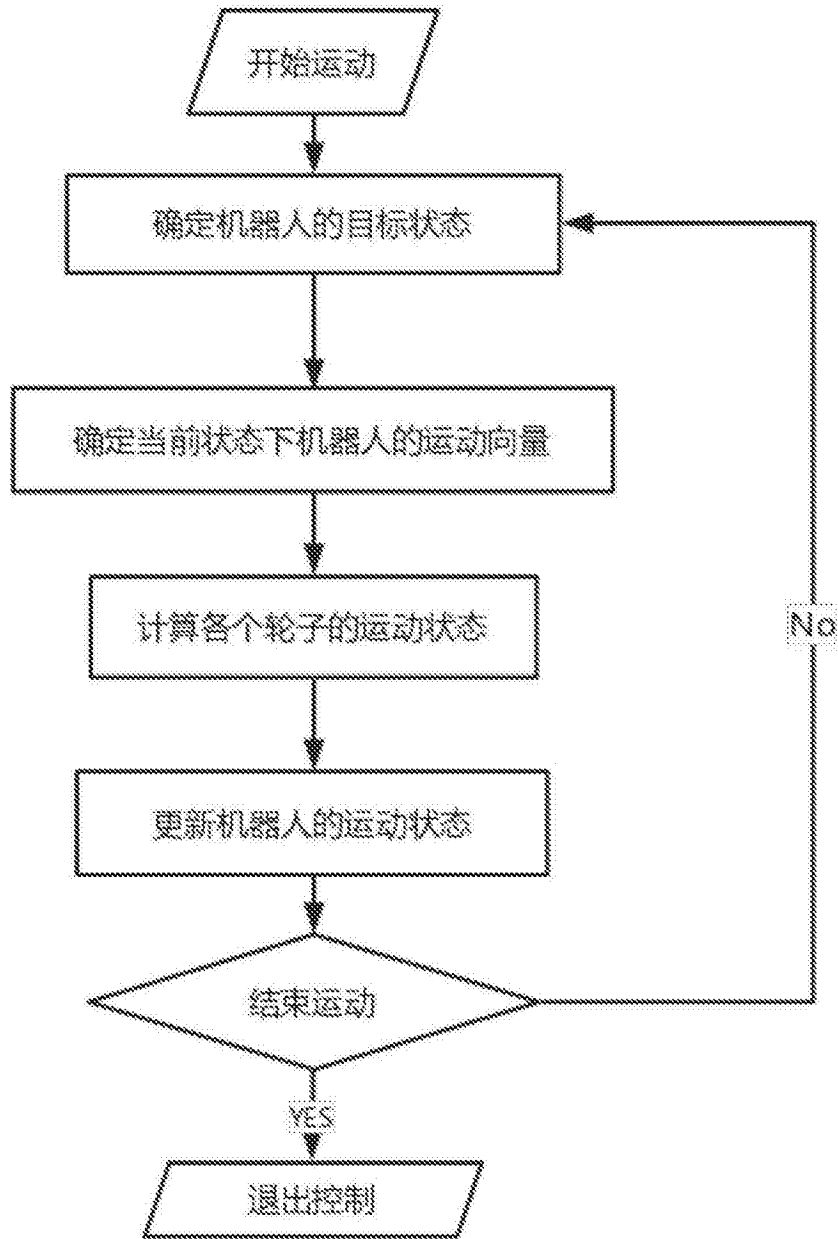


图5